

黒板専用照明の開発研究

田 口 正 明* 川 上 元 郎**

Study of Developing the Lighting for Blackboard

Masaaki TAGUTHI, Genro KAWAKAMI

For the enough presentation of the objects demonstrated on the blackboard, it is necessary to be lighted by a lamp at the top of the blackboard. This idea is a motive for beginning this study.

Technical materials concerning lighting for blackboard are not always wealthy. According to some recommendation, the aim should be realized that average illuminance is over 350 lux and the uniformity of illuminance is over 0.3 on the blackboard.

Board lighting at the respective classroom of our school was investigated. The lighting feature relating to place of the classroom was cleared and it was concluded that illuminance of the new classroom had been higher than that of the old one. Illuminance on the board at any classroom satisfied the values of recommendation.

As a result of estimation by calculation for lighting of blackboard, it was expected to obtain a desirable illuminance distribution of uniformity 0.36 on the board by 40 W reflector type fluorescent lamp with three flat mirrors. But its experimental inspection remained for future study.

1. 緒 言

この研究は筆者のひとり（田口）が昭和 58 年 4 月 12 日より 7 月 23 日までの間、本学の電子工学科・照明工学研究室で実験研究したものである。

黒板は教室で教師が講義内容を視覚に訴えて学生、生徒に伝える手段のひとつとして古くから用いられてきたものである。

この手段は教室でのみならず、講演会場、会議場用、自習用のほか、一般掲示用にまで広く用いられ、その利用方面の例は枚挙にいとまがない。

これは黒板による視覚情報の伝達手段が手軽で長期間にわたり反復使用できる点にあると考えら

れる。

ところが黒板の文字や図形は一般に、それ自体発光をしない。必ず何らかの方法で黒板を照明しなければ、その文字や図形を視認できない。

普通の教室では写真 1 に示すように窓から指し

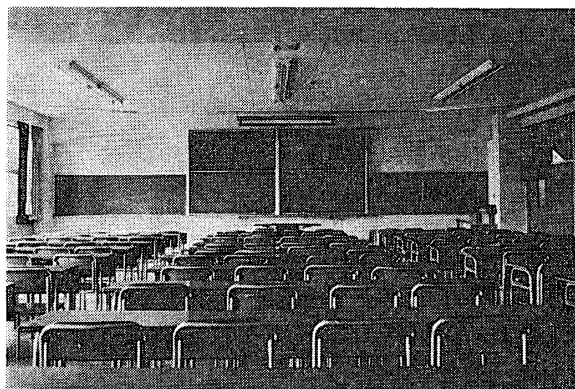


写真 1 昼光のみによる照明の 613 教室

* 株式会社 青井黒板製作所（電子工学科研究生）

** 電子工学科教授

昭和 58 年 9 月 27 日受理

込む昼光で照明される。この戸外光が暗くなれば補助光として天井照明光を加える。更に夜間になれば写真2に示すように天井照明光のみで黒板は照明される。中には黒板専用の照明が写真3に示すように教室に用意されている所もある。

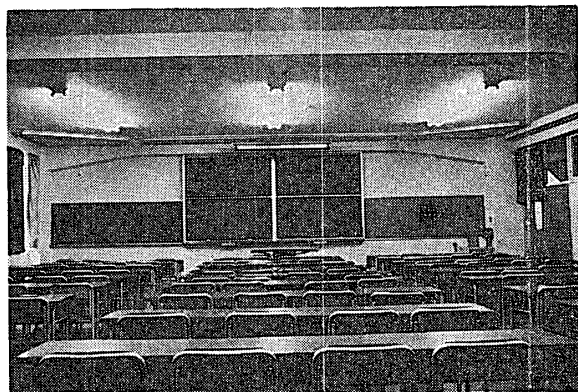


写真2 天井光のみによる照明の613教室

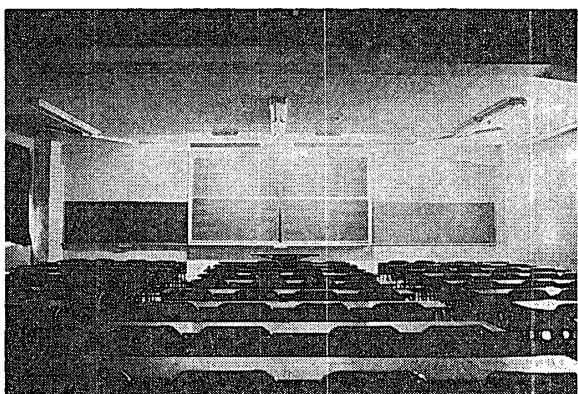


写真3 黒板専用の照明のできる713教室

しかし、これらの照明は、いずれも建築設計の上で、あらかじめ室内照明の一部として設計されたものである。黒板は本来必要に応じて備え付けられる室内設備のひとつである。室内照明が黒板に適切な照明をしているとは限らない。そのために黒板の文字や図形が十分に視認できないからといって既設の照明器具を付け替えて見えるようにすることは手軽でないことが多い。

ある時は付帯設備である黒板が悪いから見えにくいと論じられる場合もある。

以上の実情に立脚して、そもそも黒板が十分に情報伝達を果たし得るためには黒板自身が照明器具を持ち、常に適切な照明をされる必要があると

考えられた。このことが本研究の動機となった次第である。

2. 黒板照明に関する参考資料

黒板はそもそもどんな条件の明るさの下にあればよいのか。また、どんな明るさであれば黒板の本来の使命が果たせるのか。

照明工学の指導書では応用例であるせいか、あまり詳細が見当たらない。黒板は教室などの付帯設備であるせいか、建築学の指導書でも、あまり詳細が見当たらない。

ところが黒板には日本工業規格(JIS)が用意されている。それらの中のおもなものについて次に示す。

2.1 黒板に関する JIS

〔1〕 JIS S 6101 黒板通則¹⁾

この JIS では黒板の共通事項について規定されている。黒板面の色彩、黒板面の光沢度、黒板面の白墨の着きやすさ及び落ちやすさなどについての規定はあるが、黒板の置かれる環境については触れていない。

〔2〕 JIS S 6007 木製黒板²⁾

この JIS は合板または硬質繊維板に塗装し、研ぎ出し加工を施した黒板について規定されている。

これも前述した JIS 同様に、黒板の品質として黒板面の白墨による書きやすさと消しやすさ、黒板の色、光沢、表面の粗さ、耐光性などについての規定はあるが、黒板の置かれる環境については触れていない。

〔3〕 その他の JIS

その他の黒板に関係のある JIS としては次のようなものがある。

JIS S 6009 焼石こう製白墨

JIS S 6010 炭酸カルシウム製白墨

JIS S 6043 鋼製黒板

JIS S 6045 ほうろう黒板

JIS S 6047 プラスチック黒板

上記のいずれの規格にも黒板の置かれる環境に

については触れていない。

要するに黒板はこういう条件で使いなさいという規定は決まっていないということになる。

2.2 照明工学関係の研究結果

〔1〕 照明ハンドブック³⁾

学校照明のあり方の一部に「黒板の照明」という項がある。

照明の条件として次のことが挙げられている。

(i) 生徒側——黒板面から受ける反射グレアをなくし、見やすい黒板とする、黒板照明器具からの直射光が、生徒の目にはいらないようにする。

(ii) 教師側——教師が講義中にまぶしくないように、黒板照明器具の位置が仰角 45° 以上にあるようにする。教師が黒板に向かって書くときに、光源がまぶしくないこと。

(iii) 教師と生徒の共通条件——黒板面の鉛直照度が高く、見えやすいこと。黒板面の上下及び左右の照度ができるだけ均一であること

「良い照明の要件」の項で「十分な照度」を挙げ、学校の設計照度については JIS Z 9110 (照度基準)⁴⁾ の附表 3-1 学校 (屋内) によると述べている。黒板の照度については「作業：板書」に当たり、 $300 [lx]$ 以上 $1500 [lx]$ 以下が望ましいと述べている。

また「学校照明の実際」の項で、黒板照明は $40 W$ 1 灯用蛍光灯片反射がさと角度自在取り付けとを組み合わせると、板面の初期照度は平均 $350 [lx]$ 位とすることができると述べている。

ところが板面照度の均せい度については触れていない。そこで「美術館・博物館と社寺・教会の照明」の章で「絵画の展示」の項に次のような一節がある。観覧者は画面上の最低照度と最高照度との比が 0.75 以上になると、照度のむらに気がつかない。特に大きな絵画の場合でも全画面で 0.30 以上にしなければならないと述べている。黒板は絵画ではないが大きな絵画に相当するから、均せい度は少なくとも 0.30 は確保するのが望ましいようである。

〔2〕 照明学会誌

照明学会は 65 周年を迎える程に古くから照明工学の発達に寄与してきた学会であるが、その学会が毎月発行してきた報文、照明学会誌の中で黒板の照明について取り扱ったものが少ない。

本誌は毎年1年報を纏めている。この年報には前年1月から12月までの目出た報文について集録されている。その情報を基に黒板の照明に関する資料を昭和49年以降10年間について調べた。その中から主なるものについて次に示す。

(i) 学校照明基準工業標準原案⁵⁾

照明学会では日本規格協会から表題の原案作成の委託を受け委員会を組織し、昭和47年7月から翌年3月までかかり JIS 原案を作成している。ところがその後、どうもこの原案は JIS にはならなかったようである。その理由は詳かでない。

この原案の適用範囲によれば、この規格は主として小学校、中学校及び高等学校の教室 (黒板照明を含む)、屋内運動場ならびに屋外運動場の照明の基準について規格する——と記してあって黒板照明について触れている。

5.1.1 の (1) 照度の項には JIS Z 9110 附表 3-1 学校 (屋内) に示された照度と述べ、黒板作業の照度段階は $500 \sim 1000 [lx]$ と決められている。

(2) の照度分布の項には黒板ではと断わって、

$$E_{\min} \geq \frac{1}{2} E_{av} [lx]$$

であること。式中 E_{av} は作業面または黒板面の平均照度 $[lx]$ 、 E_{\min} は、作業面または黒板面の最小照度 $[lx]$ である——と記してある。

黒板照明については特に 5.3 の項で規定している。要点と項を起こして、教室の全般照明のほかに、黒板面に十分な鉛直面照度を与える黒板照明が必要である。照度分布は黒板面全面にわたることができるだけ均一になることが望ましく、また黒板からの正反射によるまぶしさをなくし見やすくする。

照度は $300 \sim 1,500 [lx]$ 。

光源は 40 W 白色蛍光ランプ。

照明器具は片反射がさ付きのつり下げ器具、または放物面反射鏡付きのつり下げ形器具。

照明手法としては (b) の項に黒板面の照度の均一化をはかることが重要で、特に黒板の上下、左右の照度差をできるだけ少なくすることが望ましい。また黒板面の鉛直面照度を最大にするために図 1 に示すように

$$\theta = \cot^{-1} \frac{1}{\sqrt{2}} \div 55 \text{ 度}$$

になるよう器具を配置する……と記し、黒板照明器具の位置と高さの数値例が表で与えられている。その表は略す。

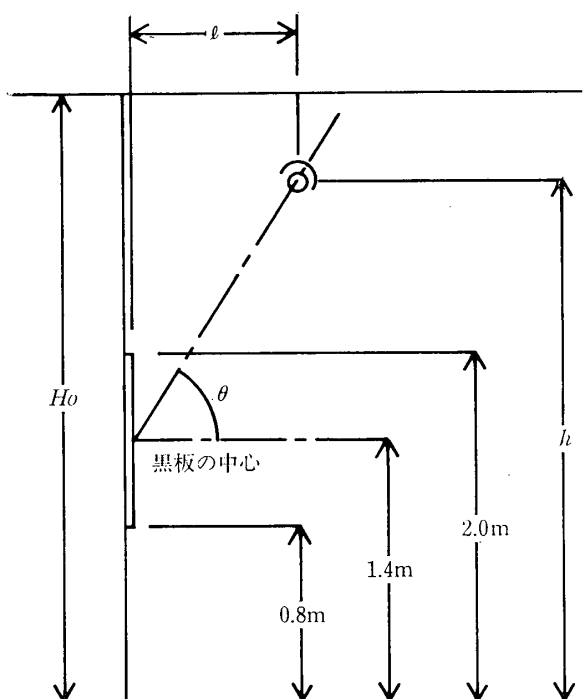


図 1 器具と黒板間の鉛直面照度の関係

(ii) 黒板用壁面照明器具⁶⁾

まえがきに、現在一般的に使用されている黒板照明器具は黒板の前面に天井からパイプでつり下げられた白色塗装の反射板のものが主流で……と書き出され、新形式の黒板照明器具を開発したという照明学会全国大会で講演発表された報文である。

結果としてつり下げ式とせず直付形または埋込

み形とし、従来品と比較し光軸光度について前者が 2.5 倍、後者が 3 倍にすることができたという。配光制御にはアルミ真空蒸着した放物反射面が用いられている。

2.3 建築学関係の研究結果

建築学の中で照明に関する分野は付帯設備に押しやられている。学校建築も、特殊な分野で、その中の黒板照明に至っては極めて狭い分野の問題とされている。したがってこの莫大な既成研究結果の中から所望の黒板照明に関する報文を探がするのは、到底短期間では困難である。

〔1〕 学校建築計画と設計⁷⁾

本誌の第 15 章に学校環境の基本計画が取り上げられている。

その中の「視環境条件の確認」の項に人工照明の照度について触れている。基準の値は照度 200～500 [lx] で、照度分布は一様であることが望ましく、均せい度は人工照明で 1/3 以上、昼光照明では 1/10 以上、作業面の狭い範囲では 1/1.5 以上あればよいとある。

この基準の値や照度分布のあり方は必ずしも黒板に限ったものではなく、机上、壁面など全般的なことであろうが、前述した照明ハンドブックの中の基準に似ている。

文字の「読みやすさ」に関する実験の結果の照度値が示されているが、主として机上の活字の大きさと照度との関係を論じた結果で、黒板については触れていない。

日本建築学会の推奨によると黒板の照度段階は 500 [lx] となっている。

照度分布について、1 つの机上面や黒板のような狭い範囲の均せい度 1/1.5 以上あれば十分であると言及されている。

第 24 章の環境設備設計の中で「設計上の留意点」の項では「黒板がまぶしく見えることのないように配慮する」とあり、「黒板の反射」についての注意は述べてある程度で照度の値には触れていない。

〔2〕 特別教室のデザイン⁸⁾

VIの特別教室の設備設計の中の(3)電気設備中に黒板照明用器具図が示されていて、放物反射面を持った FL-40 W の2灯用つり下げ形が挙げられている。これがこの時点で極めて一般的な器具だったからであろう。

3. 黒板の鉛直面照度の実状

実際の黒板の鉛直面照度(本文中では“黒板照度”と略称する)はどのようなになっているか、本学の教室で調査してみた。写真1, 2及び3に示された教室では、正面に単面の寸法が900×1800[mm]の緑色の手動上下黒板が2基左右並置されている。

本調査では下段の左右2面に限って比較調査した。窓はおおむね南向きで、天井照明器具の配置は写真から察しがつくであろう。ランプは松下電工製ナショナルハイライトS白色ラピットスタート FLR 40 SW/M であった。

図2には昼光(南窓光)のみ、昼光+天井光、天井光のみの照度分布を示した。

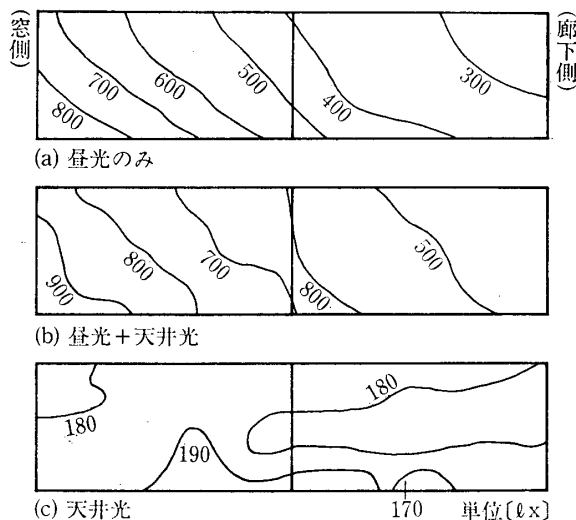


図2 613教室の黒板照度分布
(測定日: S 58. 4. 26/11:10~12:20/晴)

図中の(a)から、照度分布は左下から右上へと暗くなって行く。この傾向は窓外の地表面に天空光が反射して後に届くからであろう。ちなみに測定日は晴天であった。(b)を見ると全体に明るく

なり、かつ廊下側の明るくない方もやや積極的である。これは天井光が一樣に加わったからと考えられる。(c)は天井光のみの結果だが、日中に比し天井光のみの照明では暗い。しかし、目の順応が働き、必ずしも暗い感じはしない。図中の分布が不均一に示されているが、これは計算上の影響で、実用上は一樣に180[lx]前後の照度であると言い切っても差支えないであろう。すなわち均せい度は極めて良い。

3.1 日中と夕方との差異

同じ613教室で日中と夕方との差異について調べた。図3に示すように、昼光のみの場合の左下から右上へと暗くなって行く分布傾向は等しい。しかし照度値は極端に暗い。これでは、さすがに暗く、天井光を点灯したくなった。(b)が天井光を加えた場合である。左下から右上へと暗くなって行く分布傾向は残っているものの、実用的には一樣に220[lx]前後の照度で、天井光のみの夜間照明の状態に極く近い。

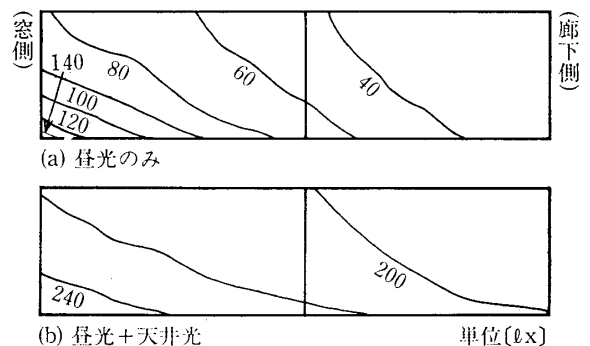


図3 夕方の613教室の黒板照度分布
(測定日: S 58. 4. 21/17:00~18:00/晴)

3.2 7号館と6号館との差異

ここまで調査してきた6号館の裏に位置する7号館の713教室で日中の黒板照度を調べた。図4に示すように、昼光のみの場合、613教室の場合と異なり、左上から右下へと暗くなって行く。この傾向は窓外の6号館の壁面に天空光が反射した後に届くからであろう。しかし、6号館の陰になるせいか、少々暗い。

昼光+天井光の照度分布は横に広がり、照度値

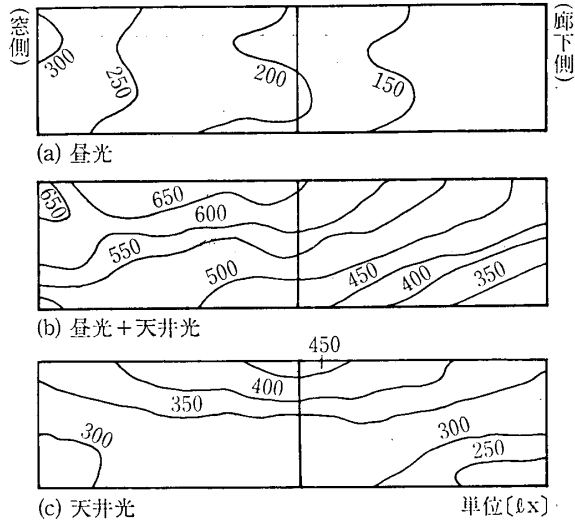


図 4 日中の 713 教室の黑板照度分布
(測定日：S 58.5.30/13:30~14:30/晴)

も明るいのは、この教室の天井光が 6 号館の各教室の分に比べて明るいことにも原因している。

ちなみに 6 号館は昭和 52 年に建設されたのに対して、7 号館は昭和 54 年に建設されているので新しい。

天井光のみの場合は、きれいに左右対称に照度分布は広がって、照度値も 6 号館の各教室の分に比べて明るい。なお、7 号館の各教室には黑板専用照明器具が設備されている。そのために 2 倍以上明るいのだろうが、上下の均一性は少々良くない。

なお、以上の吟味は日中の分であるが、夕方の分については 6 号館と同様に、天井光のみの夜間照明の状態に極く近い。

3.3 平均照度の比較

〔1〕 平均照度とは⁹⁾

照度分布を数値的に捕えるためには照度分布はたくさんのデータ群とみて統計的な扱い、すなわち平均値とバラツキを以て、平均照度と均せい度を考えるのが普通である。

長方形上の平均照度を求めるには、次のような算出の仕方をする¹⁰⁾。

- 1° 多数の照度測定値より、測定領域内の平均照度を算出するには、測定全域を適当な等面積の単位領域に分け、まず単位領域ごとの平

均照度を算出し、次にそれらの算術平均を取る。

- 2° 単位領域の平均照度は、照度測定値より、測定点の配置に応じた荷重平均で算出する。
- 3° 通常の正方形に近い単位領域については、測定の精度に応じ、4 点法、5 点法 (1)、5 点法 (2)、9 点法などの中から 1 種選ぶ。9 点法より測定点を増すのは余り有効ではない。
- 4° 9 点法は次のように平均照度 \bar{E} を算出する。

$$\bar{E} = \frac{1}{36} (\sum E_i + 4 \sum E_m + 16 E_g)$$

ただし、 E_i ：隅の照度
 E_m ：中点の照度
 E_g ：重心の照度 } (図 5 参照)

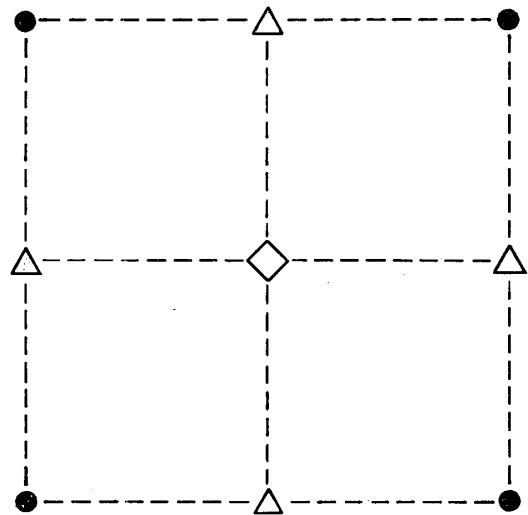


図 5 9 点法による平均照度の算出

図中●印は E_i 、△印は E_m 、◇印は E_g のそれぞれの測定点

- 5° 測定全領域を $m \times n$ 箇の単位領域にわけ、直接平均照度を算出するには次式による。

$$\text{9 点法: } \bar{E} = \frac{1}{36 mn} \{ \sum E_i + 2 \sum E_j + 4 E_k + 4 \sum E_{jm} + 8 \sum E_{km} + 16 \sum E_g \}$$

ただし、 \bar{E} ：測定全域の平均照度

E_i ：隅の照度

E_j ：辺点の照度

E_k ：内点の照度

E_g : 重心点の照度

E_{jm} : 辺中点の照度

E_{km} : 内中点の照度

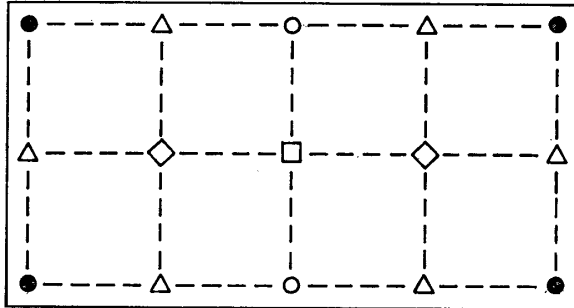


図 6 黒板の平均照度の算出

図中●印は E_i , ○印は E_j , □印は E_{km} , ◇印は E_g , △印は E_{jm} のそれぞれの測定点

〔2〕 黒板の平均照度

黒板の単面の寸法が 900×1800 [mm] であるから図 6 に示すように $m=1$, $n=2$ と考えて, この 9 点法が適用できる. 用いた式を次に示す.

$$\bar{E} = \frac{1}{36 \times 2 \times 1} \{ \sum E_i + 2 \sum E_j + 4 \sum E_{jm} + 8 E_{km} + 16 \sum E_g \}$$

表 1 平均照度 [lx]

教室別	照明別	日 中		夕 方	
		左	右	左	右
612	A	578	371	—	—
	B	700	506	—	—
	C	165	166	—	—
613	A	649	359	84	39
	B	797	516	222	199
	C	186	180	175	175
611	A	734	438	—	—
	B	1053	800	—	—
	C	232	251	—	—
712	A	547	302	—	—
	B	832	614	—	—
	C	345	334	—	—
	D	146	145	—	—
713	A	242	147	—	—
	B	563	487	—	—
	C	335	341	—	—
	D	153	139	—	—

教室別	照明別	日 中		夕 方	
		左	右	左	右
713	A	242	157	—	—
	B	563	486	—	—
	C	348	367	353	357
	D	148	158	148	155
714	A	—	—	491	240
	B	—	—	711	541
	C	—	—	338	333
	D	—	—	146	142
女子短	A	414	—	—	—
	B	513	—	—	—
	C	494	—	—	—
女子短	A	501	321	—	—
	B	781	636	—	—
	C	414	406	—	—

備考. 1) 表の中の教室別に略記されている「女子短 LL」は本学女子短期大学部の LL 教室を指し, 「女子短 Comp.」は同部のコンピュータ教室を指す. 以下この略記は本文中にも用いられている.

2) 照明別に略記されている A は昼光のみ, B は昼光+天井光及び C は天井光のみを指す. 以下本文中にも用いられている.

上式を用いて算出した平均照度を表 1 に示す.

〔3〕 左右の黒板の照度比

表 1 の左右の黒板の平均照度の比を概観すると A=昼光のみの場合, B=昼光+天井光及び C=

表 2 左右の黒板の照度比

教室別	照 明 別		
	A	B	C
612	0.642	0.723	1.006
613	0.553	0.647	0.968
611	0.597	0.760	1.082
712	0.552	0.738	0.968
713	0.607	0.865	1.018
714	0.649	0.863	1.055
女子短 Comp.	0.641	0.814	0.981
平 均	0.605	0.773	1.011

＝天井光のみの場合に、原則的な特徴が認められる。

日中の平均照度比を教室別、照明室に表 2 に示す。

表 2 のデータ群を見て、考えるべき因子が 2 つ (教室別、照明別) あるので統計的手法でいう二元配置法を用いて分散分析を試みることができる¹¹⁾。

検定の結果の分散分析表を表 3 に示す。

表 3 分散分析表

因子	平方和	自由度	不偏分散	分散比	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
教室別	0.038	6	0.006	3.39*	3.00	4.82
照明別	0.581	2	0.290	156.96**	3.89	6.93
誤差	0.022	12	0.002			

表 3 の分散比の欄の数値を F 分布表で検定すると教室によっては多少の違いはあるかもしれないが、原則として天井光のみの場合は左右の黒板照度が、まずまず等しいといえる。ところが昼光のみの場合は左右の比が 10:6 前後と明らかに廊下側は暗い。そして日中に天井光を点灯すれば、いずれの教室も 10:8 前後の比率に改善される。

本学の代表的な教室はいずれも、一般常識的な照明環境下で黒板は照明されていることが明らかになった。

〔4〕 各教室間の黒板照度の特徴

表 3 の分散分析表の分散比の欄の教室別の値を見ると余り高度ではないが有意差を示している。先に図 2 と図 4 の黒板照度分布のあり方から 6 号館の教室と 7 号館の教室との間に特徴的な差異のあることに言及した。これを検証してみる。

左右の黒板の照度のあり方については、いずれの教室にも、ほぼ当てはまる原則が明らかになったので、左右の黒板の照度のを平均して、その教室の黒板照度の代表値とし、日中の分を教室別、照明別 (A と C のみ) を表 4 に示す。

統計的手法の中に平均値に関する検定方法があって¹²⁾、その中に σ が未知の場合の μ に対する検定という方法がある。ここにおいて σ は母標準偏差を示し、 μ は母平均を示す。

表 4 黒板照度の代表値 [lx]

教室別	照 明 別	
	A	C
612	475	116
613	504	183
611	586	242
712	425	340
713	195	338
713	200	358
女子短 L L	414	494
女子短 Comp.	411	410
	401	310

表 4 のデータを用いて、各教室間の特徴を明らかにする目的で、余り一般的でないかもしれないが、以下のような仮定を設けた。

同じ照明別のデータ群の母平均 \bar{x} とある特定の教室のデータ μ_i との検定を行ない、もし両者間に有意差が認められた場合はその教室のデータはその母集団の仲間のものとはいえない……という仮定である。

この特定に基づいて検定した結果を図 7 に示す。

日中の昼光のみの分について 8 箇所の教室について平均値を求めたところ 401 [lx] であった。

それに比較すると、女子短、612、712、613 の教室は平均並みの照度であったが、611 は並はずれて明るかった。ここは大教室で窓も大きく、天井も高く、左右の窓から昼光が射込むからであろう。713 は並はずれて暗かった。ここは窓外近くに 6 号館が立ちはだかっていて天空光が十分に射込まないからであろう。

同じ 7 号館の教室でも 712 は 6 号館の反対側に位置し、窓外近くに建物がないので北天空光が十分に射込んでいるので並の照度であった。

天井光のみの場合については平均値は 310 [lx] で、612、613 は明らかに暗く、女子短は明るい。これは建物が建設された年度順に新しい程明るい傾向を示している。

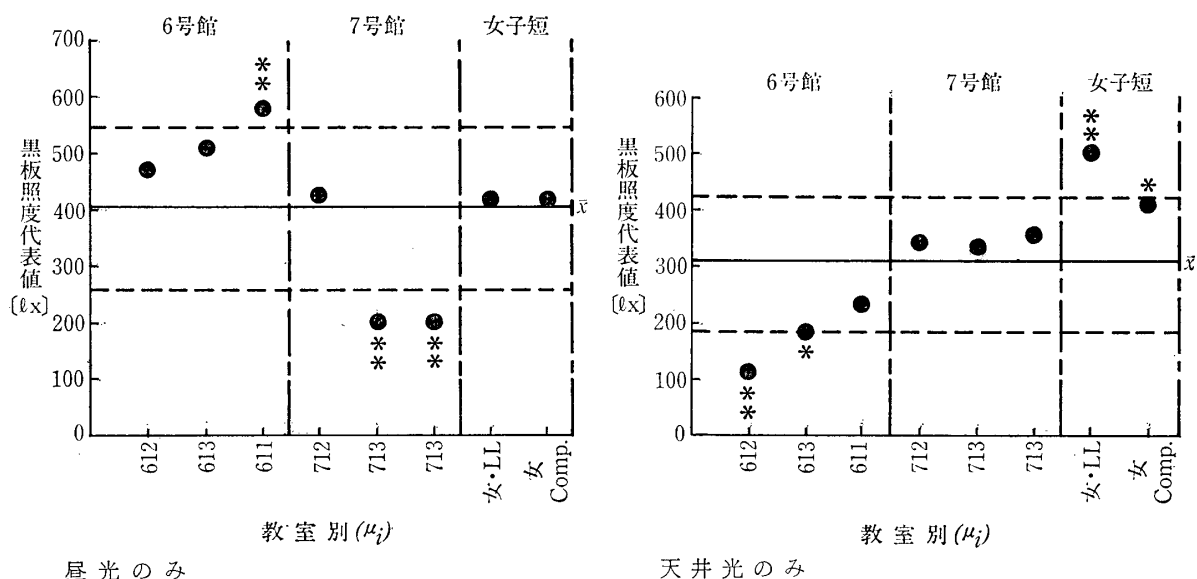


図 7 黒板照度代表値についての各教室間の比較

\bar{x} は母平均値で無印は並の値, * 印は少々並はずれの値, ** 印は極めて並はずれの値である。

4. 黒板専用照明の設計

前章までの実状調査の結果、黒板照度は場合によって日光下では $1000 [lx]$ を越えることがあり、また天井光で $100 [lx]$ はを下回ることも考えられ、照度分布もかなり激しい乱れが明らかになった。更にこの傾向は教室によって特徴的な差異が認められた。しかしながら日常に上記のような環境下で授業を実施しているが、特に支障をきたしている訳ではない。

4.1 設計方針

本研究の動機となった黒板自身が照明器具を持つ場合、上記の実状をはみ出すことは避けなければならぬ。

設計方針として次の条件で進めて行くことにした。

- 1° 対象黒板は $900 \times 1800 [mm]$ の単面の緑色黒板とする。
- 2° 照明器具の取付位置は黒板上辺中央で、垂直前方 $500 [mm]$ とし、器具の構造は努めて簡素にする。
- 3° 黒板照度は $350 [lx]$ 以上で、均せい度は 0.30 以上であること。

4.2 ランプの選定のための予備実験

光源としては大別して白熱電球で代表される点光源と蛍光ランプで代表される線光源とが考えられる。黒板照明用のランプとしては、いずれが望ましいか予備実験をした。

〔1〕 白熱電球による実験

白熱電球として松下電工製パナボール電球 (ク

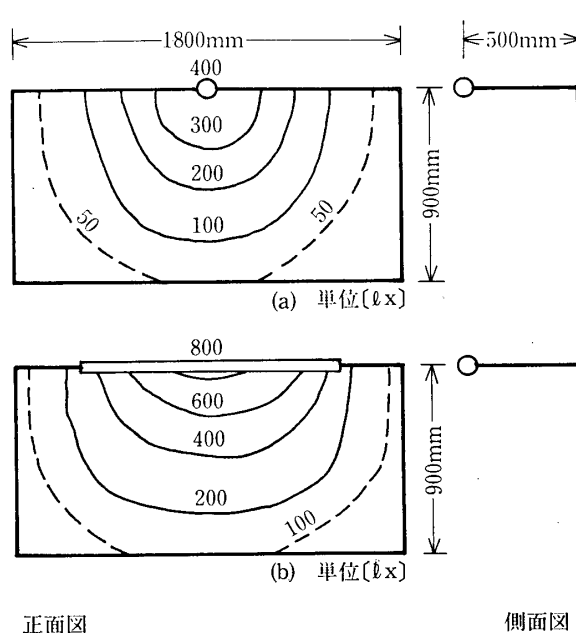


図 8 予備実験で得た黒板照度分布
(a) 白熱電球の場合, (b) 蛍光ランプの場合

リア 100 W, 95 [mmφ]) を用い, 黒板上辺中央より垂直に 500 [mm] 手前に離して点灯し, 暗室の中で照度分布を測定した. その結果を図 8 (a) に示す.

黒板上辺中央の照度は 398 [lx] と最高値で, 左右下端の照度は 21 [lx] で最低値を示した.

〔2〕 蛍光ランプによる実験

蛍光ランプとして松下電工製パルック蛍光ランプ (FL 40 SEL 40 W) を用い, 黒板上辺中央より垂直に 500 [mm] 手前に離し, 上辺に平行かつランプの中心と上辺の中央とが一致するように点灯し, 暗室の中で照度分布を測定した. その結果を図 8 (b) に示す.

予備実験の結果, 蛍光ランプのほうが白熱電球に比してワット当たりの照度は約 5 倍得られ, 照度分布も横に広がり, 経済的である.

したがって, ランプは蛍光ランプ (40 W : 1200 mm) を対象とすることに決めた.

4.3 配光曲線の調査

光源の配光とは, その光度の空間的分布で図 9 に示すように, 1 つの仮想球を考え, その中心 O を光源の中心に合わせ, 鉛直軸 LN を光源の軸と一致させる. 1 つの基準鉛直面 LSN より水平角 φ だけずれた鉛直面 LMN 上の配光を鉛直配光と呼び, 鉛直角 θ とその方向の光度 $I(\theta)$ の関係

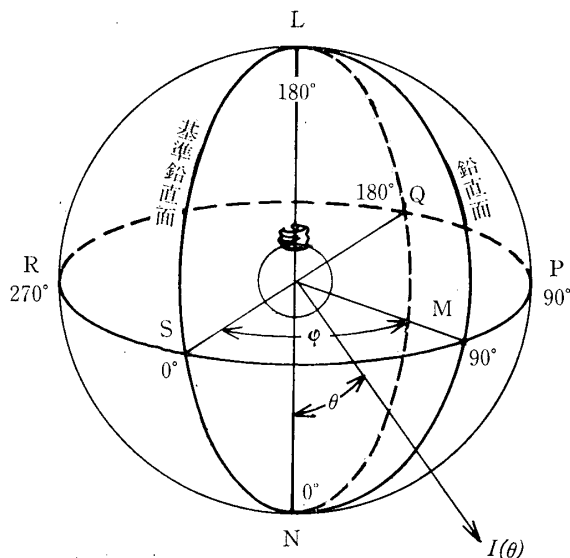


図 9 配光の表わし方

を示す¹³⁾.

配光曲線は光源を含む面内の光度を方向の関数として表わした曲線で, 通常は光源を原点とする極座標で表わされる.

本研究では基準鉛直面 LSN を黒板面に平行に向け, 水平角 $\varphi=90^\circ$ ずれた鉛直面 LMN 上の配光についてのみ注目する.

したがってクリヤ白熱電球は点光源を代表するから, いずれの方向に対する光度も等しい. その鉛直配光曲線は図 10 に示されるような $I(90^\circ)$ を半径とする円で与えられる.

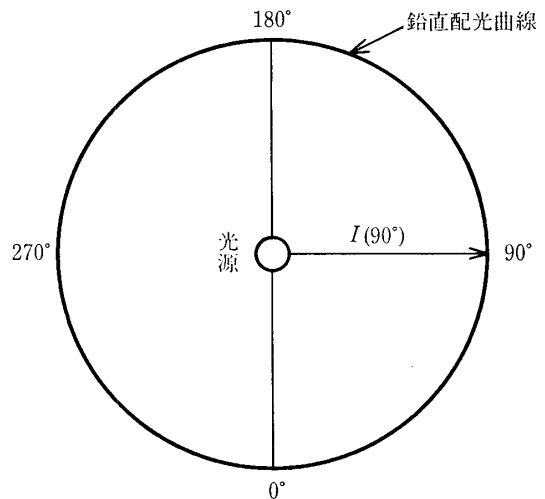


図 10 点光源の鉛直配光曲線

蛍光ランプは黒板上辺に平行に取り付けられる予定だから, その鉛直断面は小円形で表わされる. したがって蛍光ランプの鉛直配光曲線も白熱電球同様に吟味されてもよいことになる.

〔1〕 理想的な配光曲線

以下, 本論文で配光曲線と称する場合は鉛直配光曲線のみを指す.

図 11 に示すように関係位置にある光源 S からの光が黒板面 OQ 上の P 点にどんな照度を与えるか計算から求めてみる¹⁴⁾.

光度 I である点光源による P 点の黒板照度 E は距離の逆二乗の法則と入射角の余弦法則とを適用して次式から黒板照度 E を求めることができる.

$$E = I \cos^3 \theta / d^2$$

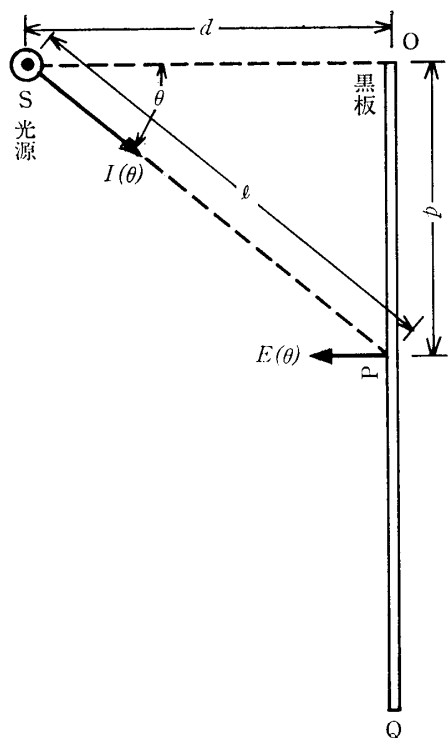


図 11 光源の光度 $I(\theta)$ と黒板照度 $E(\theta)$ との関係

ところで黒板の上辺から光源までの距離を d とし、また P 点までの距離を p とすれば、

$$E = I \cdot d / (d^2 + p^2)^{3/2}$$

となる。

光源が点光源の場合について黒板照度を上辺から下辺まで計算すると図 12 のような照度分布になる。上辺照度が最高で、下辺照度が最低で、その比は 0.115 であって、設計方針の均せい度 0.30 には遙かに及ばない。

では配光曲線がどのようなであれば均せい度は良くなるだろうか。式の中の E , d を一定に採り、 p に関する I の値を計算してみると図 13 の中の実線で表わしたような配光曲線を持つ光源があったら黒板の上辺から下辺に至るまで一様な照度分布が得られる。

設計方針で均せい度は 0.3 以上と決めたので、その条件まで下辺の照度が下がってもやむを得ないと仮定して計算してみると、図の中の破線で表わしたような配光曲線を持つ光線があったら実現できる。これを仮目標の配光曲線とする。

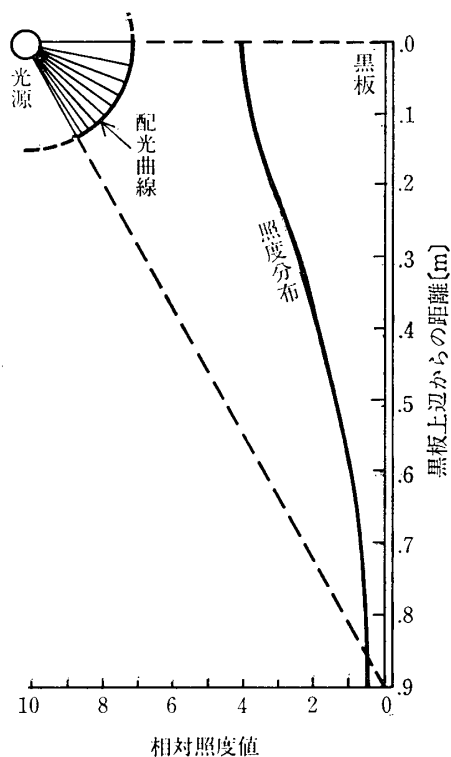


図 12 点光源による黒板照度分布

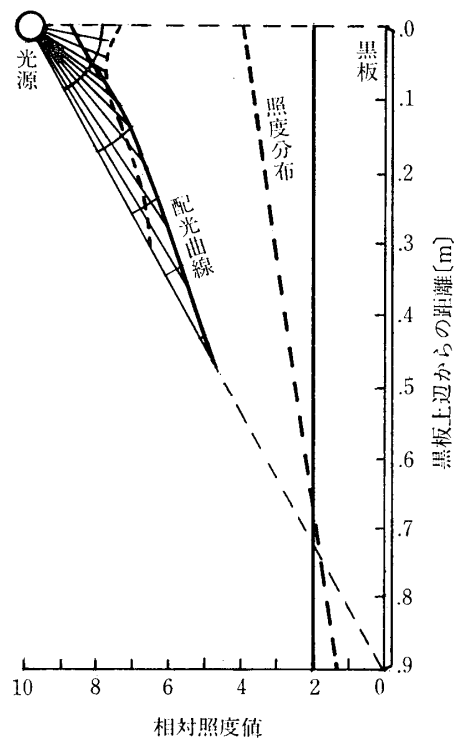


図 13 均せい度の良い照度分布を得るための配光曲線

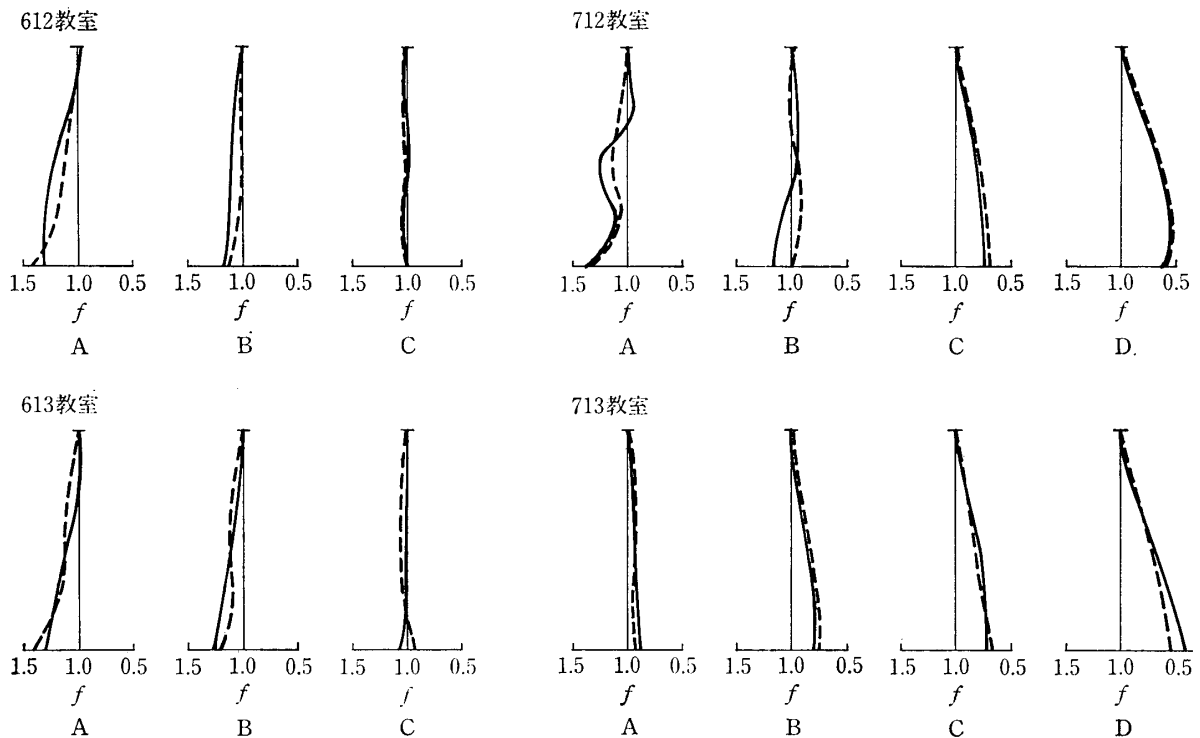


図 14 黒板中央の上辺から下辺にかけての照度分布. f は上辺を 1 とした均せい度. 実線は左側, 破線は右側の黒板の分. A=昼光のみ, B=昼光+天井光, C=天井光のみ, D=黒板用照明光のみ.

〔2〕 教室における均せい度の実状

図 14 には主な教室の黒板の上辺から下辺にかけての照度分布が示されている.

曲線が $f=1$ の線上に沿って描かれていれば, 黒板照度の分布にはむらがないことを示す. 設計方針で均せい度は 0.3 以上と決めた. 図示されたデータ全体を眺めると, 713 教室の黒板用照明光のみで照明された左の黒板の分が 0.4 と大分むらが目立つ. 他はまずまず範囲にはいっている.

上辺の照度が 0.3 の均せい度を下回するためには下辺の f が 3.0 を上回る必要がある. その点, 図示されたデータの中には, そんな極端なむらのあるものは認められない.

それにしても, 黒板用照明器具の設備されていない 6 号館と設備されている 7 号館との間には均せい度の特徴が明瞭に現われている.

〔3〕 黒板灯

7 号館の各教室には全部, 黒板用照明器具が取り付けられている. この器具と同等な器具の詳細な特

性例として松下電工製の黒板灯 410 のデータの提供が受けられた. これは 40 W の蛍光ランプ 1 灯に可動反射がさが付き, パイプつり形である. その配光曲線を図 15 (a) に示す.

この配光の実現には光源には一般形蛍光ランプ (FLR 40 S. W), それとアルミ (鏡面仕上げ) サーマルプロテクタ内蔵の反射板から成る器具を伏角 9° で図の (c) のように取り付ける.

本学の教室及び黒板の寸法並びに器具の取付位置などが, 提供された資料の場合とは大分異なるので, 照度分布は (b) に示されているものと必ずしも一致しない.

いずれにしても, 本研究で目標とした設計方針では照明器具の取付位置は黒板上辺中央で垂直前方 500 [mm] としたので, 同等の蛍光ランプを用いても, 図の (c) ような点灯条件に比べ, 高い平均照度は得られるかもしれないが, 同等の均せい度を得るのは至難である.

しかし, ここに用いられているランプと反射板

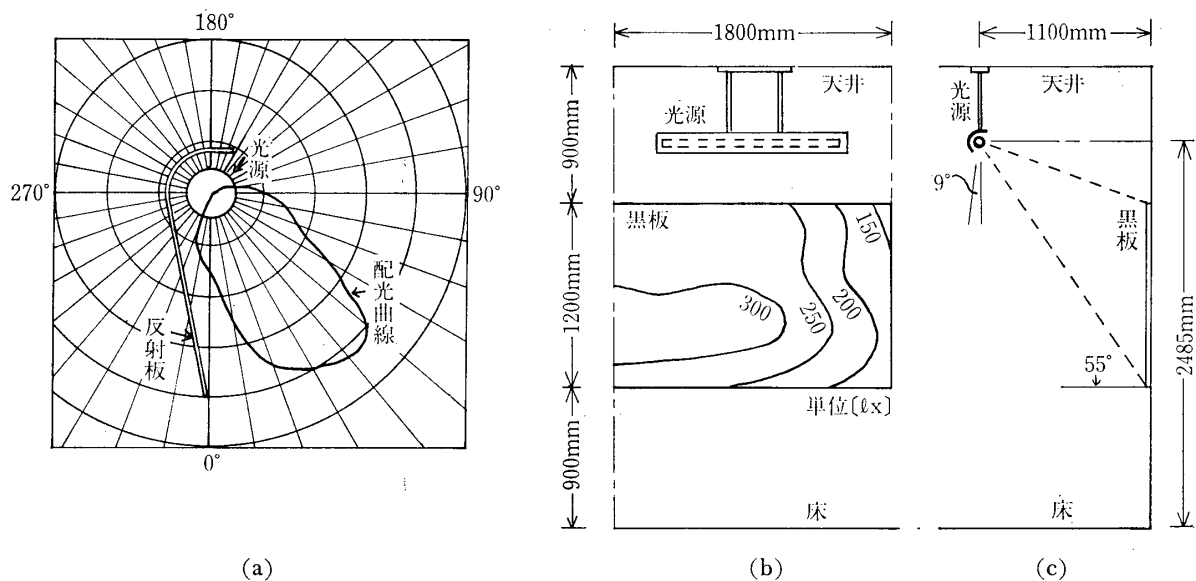


図 15 代表的な黒板灯の特性 (松下電工提供)

とのあり方については本研究を進める上で、示唆されるところが大きい。

4.4 反射形蛍光ランプの吟味

図 13 に示す均せい度の良い照度分布を得るための配光曲線から明らかなように、光源から黒板の上辺や中心に比し、下辺に向けてかなり強い光度の光を照射しなければならない。それは、あたかも自動車のヘッドライトを下辺に向けて照射するようにしなければならない。上辺や中心は余った光の照射のみで十分のようだ。

前記した黒板灯において、反射板は一般蛍光ランプの光を集光するのに役立っていた。本研究で一般形蛍光ランプはやめて反射形蛍光ランプを使用することのみで設計を進めることにした。

〔1〕 反射形蛍光ランプの配光曲線

直射照度の高いことを望む場合には反射形蛍光ランプが経済的で有利であるとされている¹⁵⁾。

ガラス管の内面に開口角度 130° を除いた部分に反射膜が塗装されている。この反射膜は反射率が高いだけでなく、少々透過もする。

このランプの詳細な特性例として松下電工製のレフレクター蛍光灯のデータの提供が得られた。その配光曲線を図 16 に示す。直下光度は一般形の蛍光ランプに比し約 70% 明るい。

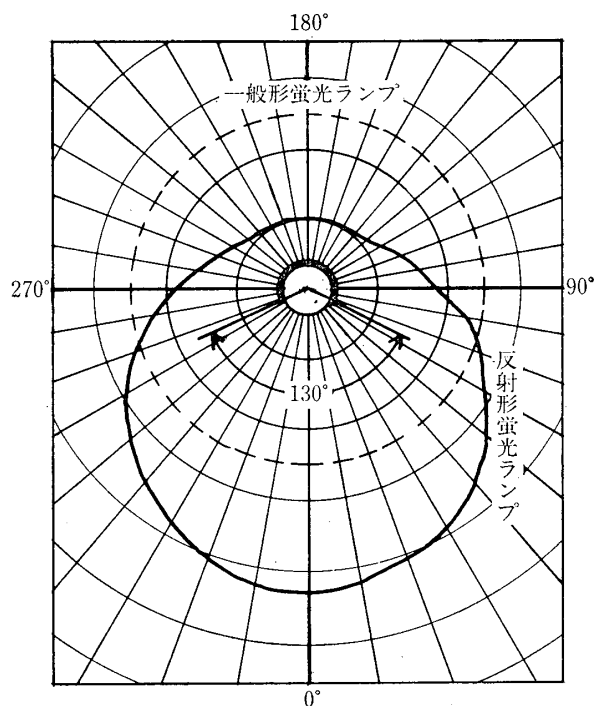


図 16 反射形と一般形の蛍光ランプの配光曲線例 (松下電工提供)

〔2〕 反射形蛍光ランプのみによる黒板照度分布

反射形蛍光ランプの配光曲線は図 16 に示されているような形をしているが、単純化するために円形で表わし、光源の中心がその円周上に位置し、照射方向にその光源の中心を通る直径が向くように仮定する。

4.3 [1] の項で点光源の場合の黒板照度分布について計算した結果を図 12 に示したが、同様にこの仮定反射形蛍光ランプの場合の黒板照度分布について計算した結果を図 17 に示す。

最高照度は上辺から 0.15 [m] あたりにあり、最低照度はやはり下辺にあって、その比は 0.182 で、設計方針の均せい度にはまだ遙かに及ばない。しかし点光源の場合、すなわち一般形蛍光ランプの場合に比べれば、わずかに改善される。

上辺から 0.15 [m] あたりに照射される光を減光処理すれば均せい度は向上するのだが、それでは折角の光量を無駄にする。

なお図 17 の中で実線で表わされた値は計算により、破線で表わされた値は実測による。両者の間に少々開きのあるのは計算に仮定配光曲線を用いたからであろう。

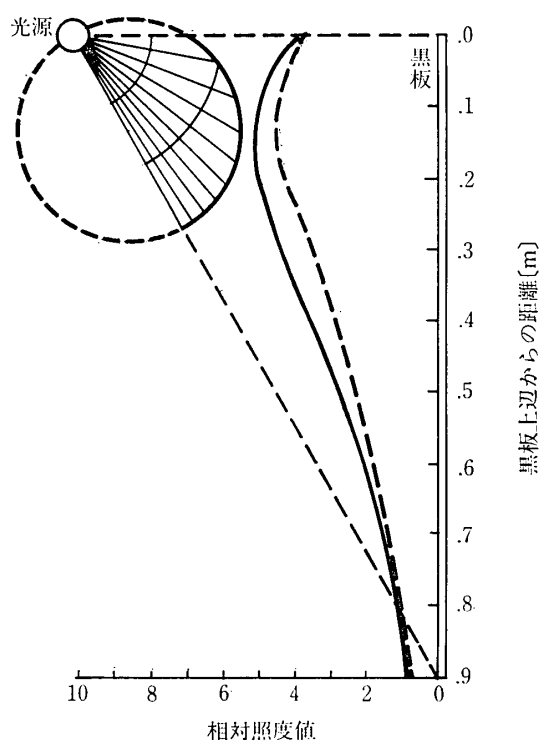


図 17 反射形蛍光ランプによる黒板照度分布
実線は計算値、破線は実測値

[3] 簡単な反射板を取り付けた場合の照度分布

図 17 を見ると明らかなように、光源から放射される光束の 1/2 ほどしか黒板面には照射されな

い。この無効光束を鏡で集め、努めて黒板下辺に集光させる策はないか考えてみた。

そこで次のような対策を施した。

- 1° 反射形蛍光ランプの照射方向を直下に向けて、特に強く照射される位置を 0.15 [m] より下辺に近づける。
- 2° そのために更に増加した無効光束を少しでも黒板面に戻すために、ランプの背面に鏡を反射板として黒板面に平行に設ける。
- 3° なお黒板面に向わず床方向に向う光束はランプの下方に鏡を上向きに水平に設ける。その光をランプの上方に鏡を下向きに、ある角度で設けて黒板面に戻す。

実際にはランプの反射板の縦幅寸法を背面の分は 0.1 [m] とし、上下の分はそれぞれ 0.05 [m] とし、反射板の材料として反射率が 0.8¹⁶⁾ の磨きアルミ板を用いるものとして計算した。図 18 の (a) に得られた照度分布を示す。

ところが、これでは黒板上辺に全く光が届かないことになる。そこで設計方針の 2° を『照明器具の取付位置は黒板上辺の高さより 0.1 [m] 上方中央で……』と変更して再計算した。図 18 の (b) に得られた照度分布を示す。かくして均せい度は 0.37 となって、設計方針の 3° の条件を十分に満足することのできる対策が得られた。

しかし、この時点で定められた研修期間が切れてしまったので、実験的検証は済んでいない。筆者のひとり（田口）が帰社後に行なうことになっている。

5. 考 察

研究の目標、期待すべき事項は明確であっても、研究を実施する者が基礎データも基礎知識を全く持っていないレベルから始める場合、与えられた研究期間が約 3 ヶ月では短かすぎ、厳しいのではないかと思いつつ始めた。最終的な実験検証が期間中にできなかったことは残念であった。

5.1 調査についての考察

黒板照明に関する参考資料が照明工学の上で

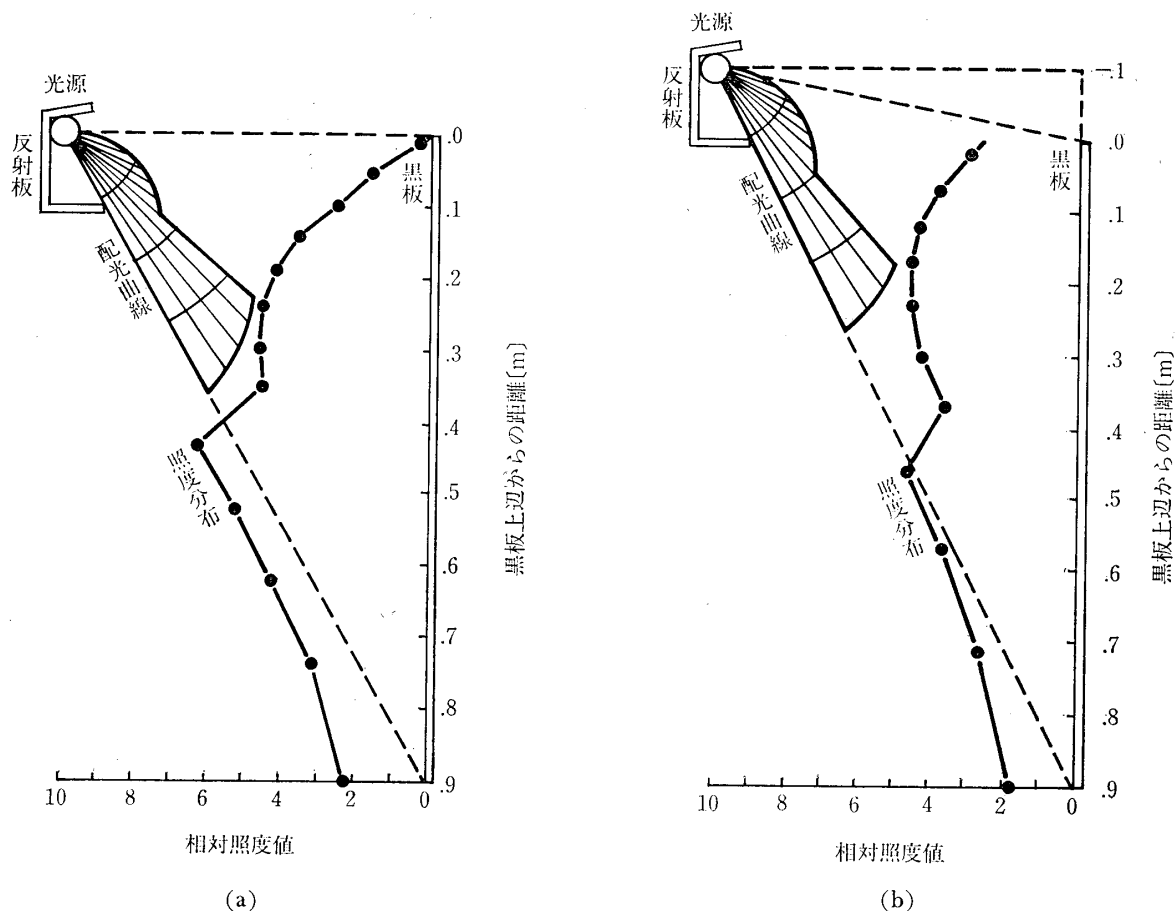


図 18 反射形蛍光ランプに反射板を組合せた器具による照度分布
(a) 設計方針どおりの場合, (b) 黒板上辺より 0.1[m] 高く器具を取り付けた場合

も、建築学の上でも、余り見当らない。これは黒板が教室などでは付帯設備だからであろうか。

古い和室の床間に見かける側面の明り採りは掛軸や置物を特に照明することができるように配慮している。しかし、教室の窓で特に黒板を自然光で照明するために設計された例を筆者は見たことがない。

しかし人工照明では天井照明のみならず黒板専用の照明を付設する動向にある。本学においても新しい教室には必ず黒板灯が取り付けられるようになった。

黒板に関する日本工業規格は構造については規定しているが、使用条件、特に照明環境については触れていない。

実は昭和 47 年ごろ照明学会が学校照明基準工業標準原案が作成された。しかしこの案は制定されなかった。惜しいことである。

この中に黒板面の照度はかなり明るく、照度分布は均一な条件が取り決められている。しかし、原則として照明器具は天井からのつり下げ式を用いることになっている。本研究で仮定した設計方針の条件に比べて黒板面から離れているので、その実現は左程難しくはないと考えられる。

本学の教室の実状調査結果はすべて極めて理に合っていた。本学の建物は、そんなに古いものではないから、この調査結果は新しく建設されたいずれの学校の実状にも適用できる代表的データと考えてよいだろう。

それにしても、日中と夜間とではかなり照度並びに照度分布が変化する。しかし教室の照明環境が心配する程に授業行動に影響しているとは思えない。私たちはわずかな変化に対しても極めて敏感であるかと思えば、一度環境に慣れてしまうと少々の変化は気にならないという二面性を持って

いることを知る。

黒板照度を設計するに当たり過剰品質にならないように注意したい。

5.2 設計についての考察

設計方針の1°として900×1800〔mm〕の単面黒板を対象とした。縦軸1200〔mm〕の黒板も会議室用などでよく用いられている。筆者らの吟味は後者についても並行されたが、本報では省略した。

500〔mm〕と黒板上辺から照明器具までの離れ方を仮定したのに特に根拠はない。本研究の目的は黒板自身が照明器具を持つにはいかにあればよいにある。そのために余り板面より離すと取付方法が難しいだろうと考えた。前方に500〔mm〕突出すのも離し過ぎの感はしたが、吟味中にも知ったように、近づけると急速に均せい度が悪くなる。

そこで吟味は500〔mm〕から始めたにすぎない。取付位置は上辺の高さではなく、少々上げると良い均せい度が得られることは前述したとおりである。この高さの加減を更に細かく吟味すれば黒板からの離れを500〔mm〕以下にする期待が持てそうである。

黒板照度の均せい度は少なくとも0.3以上であれば実用になるという保証は明らかではない。しかし文献の上では最小限のようである。

本学の教室における実状調査によれば、713教室の黒板用照明光のみの場合の均せい度が悪かったが、0.4に止まっていた良好のほうである。そして、実際の授業行動に支障が感じられる均せい度ではない。したがって支障が感じられる均せい度は一体幾らなのか、命題が今後に残される。

ランプの選定は予備実験する以前から蛍光ランプに着目していた。40 W 蛍光ランプの管長は約1200〔mm〕で、横長が1800〔mm〕の対象黒板を完全にカバーしていない。左右端の均せい度を向上させるには更に同種の蛍光ランプ20 W で管長が約600〔mm〕のものを添えるか、少々長すぎるかもしれないが管長2400〔mm〕の110 W の螢

光ランプを使う工面が必要であろう。

簡単な反射板を取り付けた場合の照度分布は計算による吟味のみで、実験的検証が済んでいないが図17で示した程度の差異の範囲で実測値は得られるものと期待している。

ところが、ここまでの対処は黒板照明のみによる照度分布を問題にしている。実際は本学の教室における実状のように昼光と併用する場合が多い。夜間では天井光と併用される。それらの光による照射光が黒板面上で重畳される。したがって幾ら黒板照明のみで均一化を全うしても、それらの照射によって均一化が乱されてしまう。

均せい度は授業行動の都合から、こうなければならないと規制されることになれば、黒板面の照度分布は照射される光を捕えて常に均せい化するように自動制御しなければならないことになるだろう。そうなれば照明システムはかなり高価かつ複雑なものになると考えられる。

6. 結 論

黒板面に書かれた内容を十分に伝達するためには黒板自身が照明器具を持ち、適切な照明をしなければならないという発想が、この研究を始める動機になった。

そのために黒板照明に関する参考資料を調べたが、意外に少なく、黒板自身に取り付けた例は見つからなかった。しかし総合すると平均照度は350〔lx〕以上で照度分布の均せい度は0.3以上を確保するのを目標とすれば良いことが判った。

昼光のみによる照明、天井光のみによる照明、黒板灯のみによる照明及びこれらが併用された場合について、本学の代表的な教室の黒板照度の実状調査を行なった。教室の立地条件による特徴及び建設時期が新しい程、照明環境は改善されている傾向が顕著であった。

目的達成のため、40 W 反射形蛍光ランプに簡単な反射板を取り付けて黒板面を照射することにより、均せい度0.37という良好な照度分布の得られる見通しが計算により求め得た。ただし、こ

の実験的検証は未済である。

7. 結 言

本研究の実施中に各色のチョークにより黒板に書かれた文字や図形の見えと照度との関係についても調査実験したが唯今データ整理中である。また黒板面の代表的な小数箇所の測定値から板面全体にわたる照度分布を計算機に推定させて分布を描くプログラムを開発した。これらについては追って報告したい。

本研究は本学の画像工学科の羽生禎侍教授のお口添えと株式会社青井黒板製作所の山本順一氏のご依頼で始められた。調査実験を進めるに当たり、写真工学科の畑田豊彦教授に研究施設を使用させていただき、特に石川和夫技術指導員には種々便宜を与えていただいた。また本学女子短期大学部より教室を拝借した。測光・測色に関して財団法人日本色彩研究所の小松原仁研究主任、コンピュータプログラムその他実測の協力について本学電子工学科照明工学研究室の藤本悦子助手ほか研究室の卒業研究生諸君に被うところが大きかった。更に照明器具について松下電器産業株式会社照明技術開発センターの森田政明氏より貴重な技術資料のお世話を賜った。上記の各位に深く感謝の意を表する。

なお、筆者のひとり（田口）は特に本学の研究生として研究指導を受けることができるよう機会を与えて下さった大学当局並びに電子工学科の諸先生と学生諸君に対して改めて深甚なる感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) JIS S 6101: 黒板通則 (昭和 43 年制定)
- 2) JIS S 6007: 本製黒板 (昭和 29 年制定)
- 3) 照明学会編: 照明ハンドブック (昭 53: オーム社) 475
- 4) JIS Z 9110: 照度基準 (昭和 33 年制定)
- 5) 照明学会: 照学誌 57-9 (昭 48) 594
- 6) 石井重行, 武田輝明: 昭和 52 年度 (10 回) 照明学会全国大会講演論文集 (昭 52) 30
- 7) 日本建築学会: 学校建築計画と設計 (昭 54: 丸善) 370
- 8) 山崎三郎ほか: 特別教室のデザイン (昭 42: ラティス) 68
- 9) 文献 3) の 296 ページ
- 10) 阪口忠雄ほか: 照学誌 49-1 (昭 40) 31
- 11) 日科技連 QC リサーチ・グループ編: 初等品質管理テキスト (昭 55: 日科技連) 113
- 12) 文献 11) の 32 ページ
- 13) 大山松次郎: 新編照明講義案 (昭 55: オーム社) 14
- 14) 文献 13) の 101 ページ
- 15) 文献 13) の 46 ページ
- 16) 文献 3) の 247 ページ